

EVALUACIÓN DEL TARGET STRENGTH DE JUVENILES DE ATÚN ROJO (*THUNNUS THYNNUS*) EN JAULAS MARINAS.

PACS: 43.30.-k

Vicente Puig¹, Ester Soliveres¹, Patricia Ordoñez¹, Víctor Espinosa¹, Isabel Perez¹, Fernando de la Gándara², Vicent Estruch¹, Lucio Calise³.

¹ I.G.I.C. (Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras) – Universitat Politècnica de Valencia, C/ Paranimf, 1 46730 Grao de Gandía (Valencia - Spain)

² IEO (Instituto Español de Oceanografía) Centro Oceanográfico de Murcia. Planta de Cultivos Marinos, Ctra. de la Azohia s/n 30860 - Puerto de Mazarrón (Murcia-Spain)

³ ZUNIBAL S.L. Idorsolo, 1 – 48160 Derio (Bilbao-Spain)

viuipon@epsg.upv.es, vespinos@fis.upv.es, essogon@epsg.upv.es, fernando.delagandara@mu.ieo.es

Abstract

In recent years, the Spanish Institute of Oceanography (IEO) has maximized its efforts on developing mechanisms for the breeding of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*), whose complete cycle is near to be closed. In this paper, acoustic measurements performed on young tuna cages (with scientific echosounder and split-beam transducer) are presented. Tuna housed in the cages were born in captivity and they are divided in three cages according to their size. The combination of the acoustic and biometric data (obtained with stereoscopic system) allow to establish a relationship between representative tuna length in each cage and the target strength (TS).

Resumen

En los últimos años, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) ha maximizado sus esfuerzos en desarrollar mecanismos para la cría en cautividad del atún rojo (*Thunnus thynnus*), cuyo ciclo completo está a punto de cerrarse. Este trabajo presenta los resultados obtenidos tras realizar mediciones acústicas con una ecosonda científica y un transductor *split-beam* en jaulas marinas donde los atunes, nacidos en cautividad, se separan en tres tamaños. La combinación de los datos acústicos y de los muestreos biométricos (obtenidos ópticamente) permite establecer una relación entre la longitud de los peces y el valor del target strength (TS) devuelto por dichos peces.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está desarrollando una incipiente industria acuícola del atún rojo (*Thunnus thynnus*) que implica la obtención de huevos fértiles a partir de reproductores ubicados en jaulas flotantes, el cultivo larvario y la producción de juveniles en instalaciones en tierra, y el posterior engorde de los mismos, nuevamente en jaulas. A este respecto, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) lleva varios años produciendo juveniles de esta especie con el

objetivo de cerrar su ciclo biológico en cautividad y contribuir al desarrollo de la producción de atún rojo mediante técnicas de acuicultura integral [1,2].

Las técnicas acústicas se han revelado como una tecnología versátil y prometedora para la monitorización del crecimiento de peces en jaulas. Para poder controlar el proceso de crecimiento de manera adecuada, es necesario establecer una relación precisa entre el tamaño del pez y la potencia acústica retropropagada por el mismo, también llamada potencia del blanco o target strength (TS). Algunos estudios realizados con salmones [3] han mostrado la posibilidad de establecer una correlación entre el tamaño de los peces y el TS de los mismos, abriendo las puertas a estudios similares con otras especies.

Actualmente están en desarrollo trabajos con especies como la dorada o la lubina [4], de alto impacto económico por su elevado consumo a nivel mundial. La producción de estas especies en piscifactorías ha aumentado de manera notable en los últimos años, superando incluso en toneladas a las capturas, por ello, el uso de herramientas de control de la producción se hace cada vez más indispensable.

Para el caso del atún rojo no se conocen estudios de estas características, sin embargo si se han realizado campañas de medida del TS para otras especies similares como el bigeye tuna o patudo (*Thunnus obesus*) o el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*) principalmente del aspecto dorsal del TS medido *in situ* [5]. No obstante, en ningún caso se conocen medidas realizadas en jaulas de engorde para ninguna de estas especies ni para el atún rojo.

En este trabajo se pretende estudiar si es posible establecer una relación entre el tamaño de atunes juveniles nacidos en cautividad y el TS, realizando medidas desde la superficie (aspecto dorsal), ya que, anteriores experiencias con atunes en cautividad de mayor tamaño [6], mostraron que dicha correlación existe realizando las medidas desde el fondo de la jaula (aspecto ventral), como indican los principales trabajos publicados sobre este tema [3]. La diferencia entre las medidas realizadas dorsal y ventralmente pueden ser debidas a la cortas distancias de medida, ya que, no nos encontraremos dentro del llamado “campo lejano” del sonido, que depende del tamaño del pez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Medidas Experimentales

Se realizaron medidas en tres jaulas localizadas en El Gorguel (Murcia) y gestionadas por la empresa Fortuna Mare. En dichas jaulas se alojaban atunes juveniles separados por tamaño. Todos los atunes estudiados habían nacido en cautividad, y forman parte de los estudios que el Instituto Español de Oceanografía lleva a cabo con la finalidad de cerrar el ciclo vital para esta especie.

Se eligieron las jaulas J2, J3 y J5 que contenían atunes de diferentes tamaños estando los de mayor tamaño en la J2, los de tamaño intermedio en la J3 y los de menor tamaño en la J5. Las jaulas tenían un diámetro de 25 metros y una profundidad de 16 metros las que alojan peces de mayor tamaño y de 10 metros la que contenía a los atunes más pequeños.

Las medidas se realizaron desde la superficie para evaluar el TS de manera dorsal. Se utilizaron dos ecosondas científicas EK60 de Simrad trabajando de manera síncrona, una conectada a un transductor split-beam de 200 KHz y la otra a un transductor split-beam de 120 KHz, ambos transductores con 7° de apertura. Los transductores se colocaron a la mitad del radio de la jaula, orientados hacia el fondo de la misma y con la mínima separación posible entre ambos. La potencia transmitida es de 90 W para la frecuencia de 200 KHz y de 100 W para la de 120 KHz, la duración del pulso transmitido es de 64 μ s a las dos frecuencias, así

como el intervalo entre pings que es el máximo a ambas frecuencias. Las medidas cada jaula se realizan durante una hora y media.

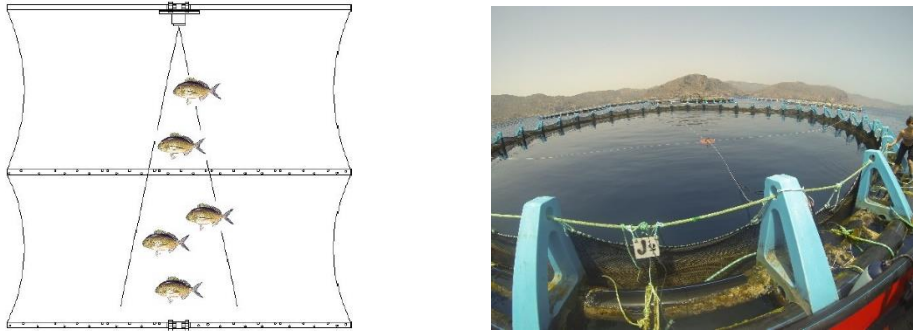


Fig. 1. A la izquierda esquema de medidas dorsales en una jaula. A la derecha imagen de los transductores colocados en la jaula J2

Para disponer de información biométrica de los atunes de cada jaula, se realizan grabaciones con un sistema de cámaras estereoscópicas (Vicass System de AkvaSmart). Este sistema ha sido diseñado para realizar mediciones de longitud de los peces en jaulas, y se usa normalmente por los productores para conocer el tamaño promedio dentro de las jaulas. El sistema óptico está compuesto por dos cámaras idénticas montadas en una caja de metal estanca y con sus ejes ópticos alineados y separados 15 pulgadas. Dicho sistema dispone además de un ordenador de campo que nos permite la manipulación de las cámaras y la obtención de imágenes de manera manual o automática.

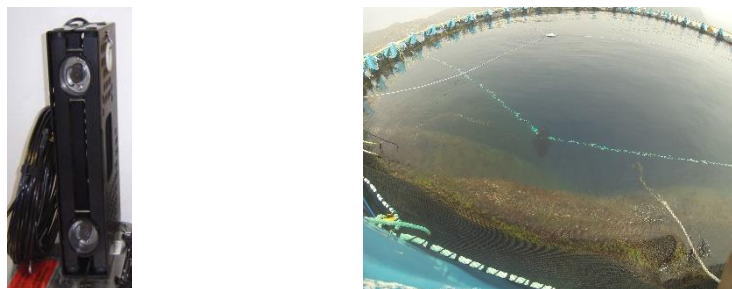


Fig. 2. Imagen del sistema estereoscópico antes de sumergirlo (izquierda). Imagen del sistema de cámaras estereoscópicas realizando mediciones en una de las jaulas (derecha).

Análisis De Los Datos

Los datos obtenidos del sistema óptico se analizan con ayuda de un software específico que proporciona el fabricante para su análisis. Para realizarlos debe medirse todos los ejemplares posibles en cada par de imágenes captado por las cámaras, marcando la nariz y la cola de

cada pez (obteniendo así la conocida como longitud furcal), y la altura máxima de cada pez. Este software nos ofrece distribuciones de tamaño para cada jaula analizada.

Los datos acústicos se analizan en dos pasos. En el primer paso los datos son tratados con ayuda del software Sonar5 Pro, ya que, se detectan en los ecogramas varias especies: atunes lachas y obladas. Por ello, los ecogramas deben ser limpiados para su correcto procesado. Una vez limpios se aplica un proceso de detección de ecos simples (SED) para obtener ecos individuales procedentes de un único pez [6]. Finalmente los datos de los ecogramas limpios, y los resultantes del procesado SED son exportados en formato de texto para su posterior tratamiento en Matlab ®.

En el procesado SED, se consideran detecciones de ecos individuales aquellas con un valor superior a -100 dB, para una longitud de pulso entre 0.4 y 4.0 relativa al ancho del pulso emitido, una compensación de ganancia máxima en una dirección de 12 dB, y una desviación de fase máxima de 3.

Se dispone de una herramienta implementada en Matlab ® que permite la detección de trazas individuales. Permite que dichas trazas sean aisladas y se puedan extraer diferentes parámetros de las mismas. Para nuestro análisis de cada traza se extrae el valor del TS máximo (TSmax) para el ecograma limpio, y el valor del TS máximo compensado (TS_cmax) y sin compensar (TS_umax) para el ecograma limpio y procesado con el detector de ecos simples. Cuando se habla de TS sin compensar, se hace referencia a que el valor del TS no ha sido corregido cuando éste proviene de cualquier punto del haz acústico fuera del eje de máxima radiación y por lo tanto no existe compensación de fase, como ocurre con los transductores de haz único o single beam. Por el contrario, el TS compensado es aquel que sí es corregido cuando es detectado fuera del eje acústico del transductor (compensado su fase), y solo es posible obtenerlo en transductores de haz dividido o split beam. Durante el análisis para eliminar detecciones e bajo nivel se elige un nuevo umbral de - 60 dB, y se eliminan el primer metro desde la superficie del transductor y las detecciones pegadas al fondo de la jaula.

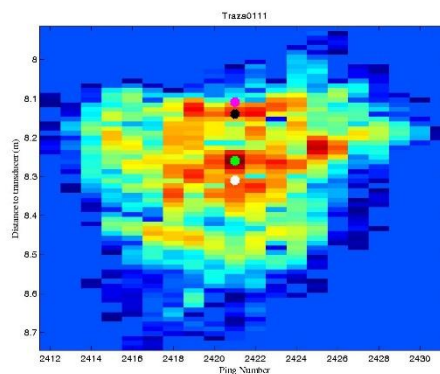
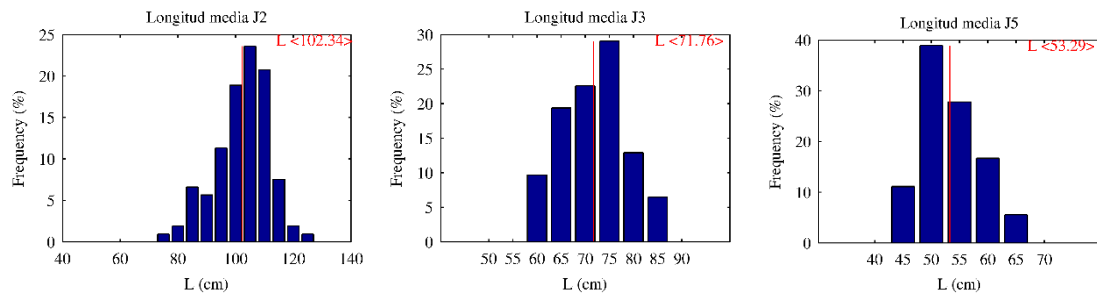


Fig.3- Traza aislada del ecograma limpio sin aplicar SED

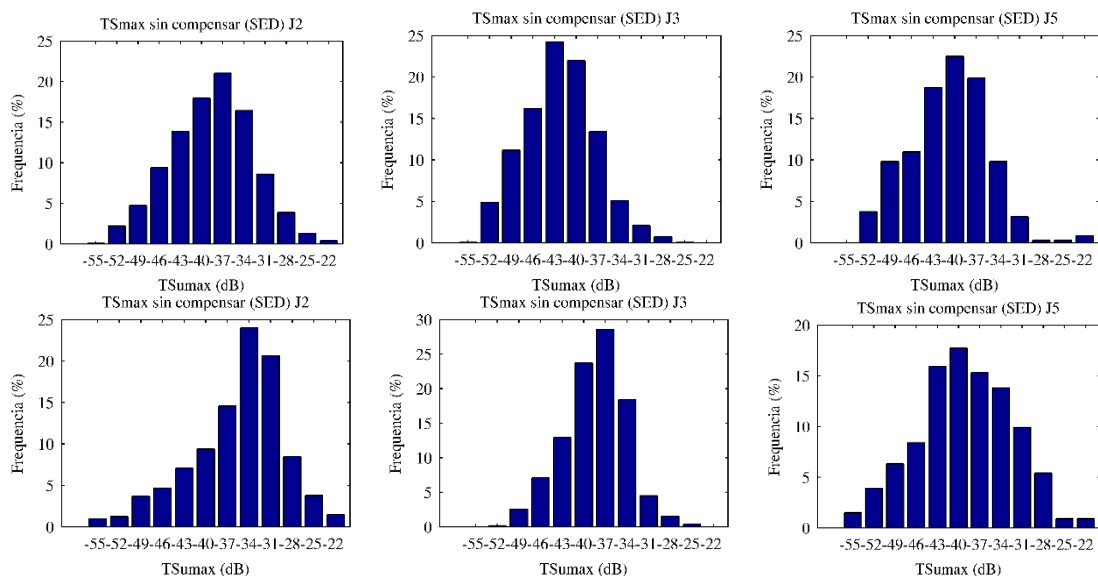
Los datos acústicos ofrecen distribuciones del TS para cada una las modalidades de TS consideradas (el TS máximo, TS máximo sin compensar y TS máximo compensado). De estas distribuciones se extraen indicadores estadísticos de manera que se obtiene para cada jaula el valor de la media, la mediana y la moda para cada una de las modalidades del TS. Por último se realiza un ajuste lineal por mínimos cuadrados para hallar la relación entre el TS y el logaritmo de la longitud del pez.

RESULTADOS

Del análisis de los datos ópticos se extrae la distribución de tamaños para cada jaula, que se puede ver en la Fig. 4. Obteniéndose tamaños medios para la jaula 2 (J2) de 102.34 cm, de 71.76 cm para la jaula 3 (J3) y de 53.29 cm para la jaula 5 (J5).



La Fig.5 muestra la distribución de TS para la jaula 2, la que contiene atunes de mayor tamaño, para las dos frecuencias (120 y 200 KHz). En ambos casos las distribuciones tienen carácter unimodal. Para los peces de tamaño mediano esta característica se mantiene en las distribuciones, ocurriendo lo mismo para la jaula 5, aunque de manera menos clara. Hay que destacar que en el caso de la J2 y la J3 el número de detecciones es mucho mayor que para la J5 (hasta 4 veces más). Esta disminución de detecciones se debe principalmente a la presencia de menor cantidad de ejemplares y por tanto a la disminución de la probabilidad de que los atunes crucen el haz acústico.



Se halla una buena correlación entre el aspecto ventral del TS y el logaritmo de la longitud total del atún a 200 KHz pero no es así para 120 KHz. Para esta última frecuencia los valores son

menores de lo esperado, ya que, como marca la ortodoxia, el TS en la zona geométrica (donde el tamaño del pez es mucho mayor que la longitud de onda) debe disminuir con la frecuencia, hecho que no ocurre en este caso.

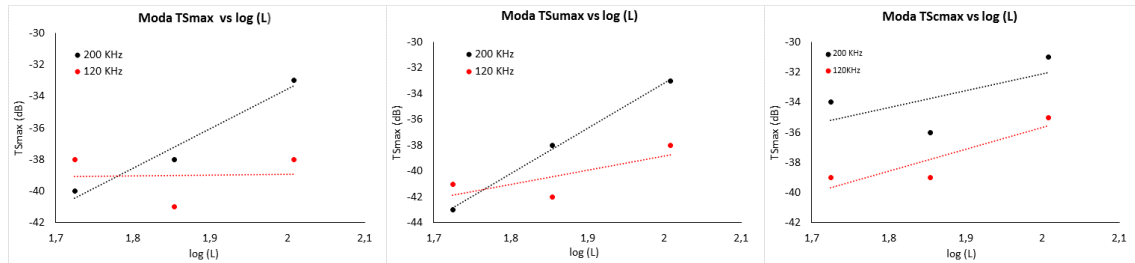


Fig. 6.- Ajustes para las diferentes modalidades del TS tomando la moda de la distribución para cada jaula. En negro para 200 KHz en rojo para 120 KHz.

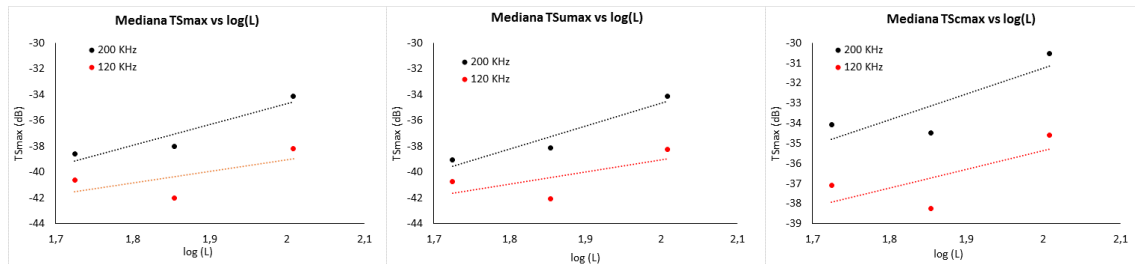


Fig. 7.- Ajustes para las diferentes modalidades del TS tomando la mediana de la distribución para cada jaula. En negro para 200 KHz en rojo para 120 KHz.

En las Fig. 6 y 7 se puede observar que la moda y la mediana nos ofrecen buenos resultados del ajuste entre la longitud media del atún y el TS. El grado de correlación es muy alto cuando se usa para el ajuste el TS máximo sin compensar (con r^2 mayor de 0.9), disminuyendo la el valor de r^2 al usar el TS máximo pero manteniéndose valores aceptables (con r^2 por encima de 0.88), siendo peores los ajustes con el uso del TS compensado. Este hecho puede deberse a la dificultad de establecer correcciones efectivas cuando un blanco de gran tamaño cubre gran parte del haz, o incluso, en algunos casos, puede ser debido a que el pez ocupa el haz por completo (por el tamaño del mismo y la corta distancia que lo separa del transductor).

Usando la moda de las distribuciones a 200 KHz : $TS = 35,18(\log L) - 103,51$ $r^2 = 0,9974$

Usando la moda de las distribuciones a 120 KHz : $TS = 11,07(\log L) - 60,95$ $r^2 = 0,5701$

Usando la mediana de las distribuciones a 200 KHz : $TS = 17,73(\log L) - 70,12$ $r^2 = 0,9201$

Usando la mediana de las distribuciones a 120 KHz : $TS = 9,39(\log L) - 57,84$ $r^2 = 0,4645$

CONCLUSIONES

Las distribuciones de TS halladas son unimodales, para todas las jaulas estudiadas, siendo menos marcada para la que contiene los peces de menor tamaño. Esto podría explicarse por la

por la falta de detecciones debido a la menor cantidad de ejemplares dentro de la jaula y la disminución de la cantidad de veces que los peces cruzan el haz acústico. En las dos jaulas con atunes de mayor tamaño; donde las detecciones son al menos tres veces mayores, las distribuciones tienen un marcado carácter unimodal.

No se dispone de medidas ventrales para poder determinar si, al igual que para otras especies de peces [3], el TS para las grabaciones dorsales es menor que para las ventrales, posiblemente debido al efecto de apantallamiento de la vejiga natatoria por las estructuras duras del pez.

No obstante, se ha hallado una relación clara entre el aspecto dorsal del TS y el logaritmo de la longitud total del atún. Esta correlación es buena cuando se usa el TS máximo sin compensar (TS_{max}) o el TS máximo. No ocurre lo mismo al hacer uso del TS máximo compensado, que teóricamente debería presentar los mejores resultados, como sugiere [3]. Este hecho, hace necesario extender el análisis en futuros estudios, en los que las detecciones para todos los tamaños sean lo más parecidas posible, pudiendo comprobar de manera más concluyente la idoneidad del uso del TS_{max} como parámetro de monitorización del crecimiento de los atunes en jaulas marinas.

A la vista de los resultados obtenidos, tanto el TS_{max} como el TS_{sumax} se podrían emplear para controlar el tamaño de los peces en el interior de una jaula, ya que se obtienen buenas correlaciones. Se ha de tener en cuenta que el TS_{sumax} y el TS_{max} son muy parecidos, posiblemente debido a que la aplicación del segundo umbral de -60 dB elimina gran cantidad de los ecos no deseados. El TS máximo presenta valores ligeramente mayores que el TS_{sumax} pero una menor pendiente.

Es necesario ampliar el estudio obteniendo más detecciones en las medidas dorsales y extendiéndolo a medidas ventrales, para comprobar si los valores del TS aumentan en el aspecto ventral, y como afecta aumentar el número de detecciones a la forma de las distribuciones. Así mismo, podría comprobarse si la correlación del TS con la longitud de los atunes es mejora con medidas ventrales como indica la literatura [3].

Así mismo, se hace imperativa la realización de simulaciones para entender cómo afecta la distancia de medida al valor del TS a las dos frecuencias de estudio, y poder clarificar así los

REFERENCIAS

- [1] De la Gandara, F., C.C. Mylonas, D. Covès and C.R. Bridges (eds) 2010. *SELFDOTT REPORT* 2009, 279 pp.
- [2] Ortega, A.; Viguri, J.; Prieto, J.R.; Belmonte, A.; Martinez, D.; Velazquez, M.; De la Gandara, F.; Seoka, M. 2014. "First results on ongrowing of hatchery reared Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, kept in sea cages". In: Aquaculture Europe 14, San Sebastián (Spain) 14-17 October 2014: 931-932
- [3] F.R. Knudsen, J.E. Fosseidengen, F. Oppedal, Ø. Karlsen, E. Ona, "Hydroacoustic monitoring of fish in sea cages: target strength (TS) measurements on Atlantic salmon (*Salmo salar*)", Fisheries Research 69, 205-209 (2002).
- [4] Soliveres, E. 2015. "Estimación de la biomasa de peces en jaulas marinas mediante ultrasonidos". Phd Thesis, Universitat Politècnica de València.
- [5] Bertrand, A., Josse, E., and Massé, J. 1999, "In situ acoustic target strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellow tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking". ICES Journal of Marine Science, 56: 51-60.

- [6] V. Puig, V. Espinosa, E. Soliveres, A. Ortega, A. Belmonte, F. de la Gándara 2012.
"Biomass estimation of bluefin tuna in sea cages by the combined use of acoustic and optical techniques". Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 68(1): 284-290 (2012).
- [7] H. Balk, T. Lindem, "Sonar 4 and Sonar 5-Pro Post processing systems. Operator manual version 5.9.8", *University of Oslo*, Norway (2009).